
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua

Sidang Akademik 2005/2006

April/Mei 2006

EEM 251 – REKABENTUK MEKATRONIK I

Masa : 3 Jam

ARAHAN KEPADA CALON:-

Sila pastikan kertas peperiksaan ini mengandungi **LIMA BELAS** muka surat termasuk **DUA** muka surat **Lampiran** bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab **LIMA** soalan.

Semua soalan hendaklah dijawab dalam Bahasa Malaysia.

...2/-

1. (a) Dalam konteks sistem mekatronik, apa itu permodelan sistem? Apakah dua aspek yang perlu dipertimbangkan untuk mendapatkan model sesuatu sistem?

In the context of mechatronic systems, what is system modelling? What are the two aspects that need to be considered in obtaining a model for a system?

(20%)

- (b) Pertimbangkan persamaan pembezaan tertib kedua berikut:
Consider the following second-order differential equation,

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 3 \frac{dy(t)}{dt} + 2y(t) = 5x(t)$$

Dengan menggunakan kaedah jelmaan Laplace,
By using the Laplace transform method,

- (i) Terbitkan persamaan $Y(s)$ dalam domain-s
Derive equation $Y(s)$ in the s-domain

(15%)

- (ii) Jika $x(t)$ ialah fungsi langkah unit, dapatkan penyelesaian bagi $y(t)$ bagi $t > 0$

Anggapkan keadaan awal $y(0) = -1$, dan $\left. \frac{dy(t)}{dt} \right|_{t=0} = 2$

If $x(t)$ is a unit step function, obtain the solution for $y(t)$ for $t > 0$

Assume the initial condition $y(0) = -1$, and $\left. \frac{dy(t)}{dt} \right|_{t=0} = 2$

(20%)

...3/-

- (c) Rajah 1(a) menunjukkan satu sistem mekanik yang terdiri daripada satu objek berjisim M yang disambungkan kepada satu spring dan satu peredam.

Figure 1(a) shows a mechanical system consisting of an object with mass M that is connected to a spring and a damper.

- (i) Lakarkan satu rajah jasad bebas serta daya-daya yang bertindak ke atas objek.
Draw a free body diagram and indicate the force acting upon the object.

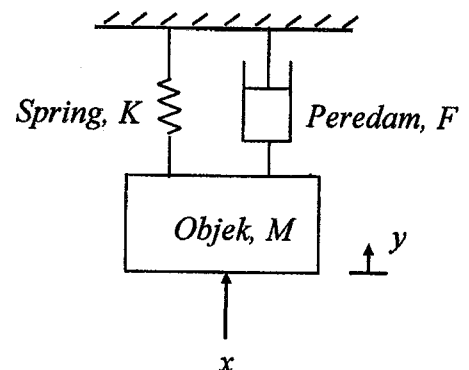
(15%)

- (ii) Dengan menggunakan jelmaan Laplace, terbitkan rangkap pindah sistem antara daya yang bertindak ke atas objek (input) dengan anjakan objek (output) dalam domain- s . Anggapkan semua keadaan awal adalah sifar.

By using Laplace transform, obtain the transfer function of the system between the force applied to the object (input) and the displacement of the object (output) in the s -domain. Assume all the initial conditions are zero

(30%)

x	—	daya luaran yang dikenakan (applied external force)
y	—	anjakan objek (displacement of the object)
M	—	jisim objek (mass of the object)
K	—	ketegangan spring (stiffness of spring)
F	—	koeffisien geseran viskus peredam (viscous friction coefficient of the damper)



Rajah 1(a)
Figure 1(a)

...4/-

2. (a) Dengan menggunakan suatu gambarajah blok yang sesuai, terangkan terminologi berikut didalam konteks sistem kawalan.

By using a suitable block diagram, explain the following terminologies in the context of control systems.

(i) Isyarat ralat;
Error signal;

(ii) Ganguan;
Disturbance;

(iii) Laluan ke depan;
Forward path;

(iv) Laluan suapbalik;
Feedback path;

(20%)

- (b) Merujuk kepada Rajah 2(a),
With reference to Figure 2(a),

(i) Lukiskan graf aliran isyarat bagi sistem tersebut.
Draw the signal flow graph for the system.

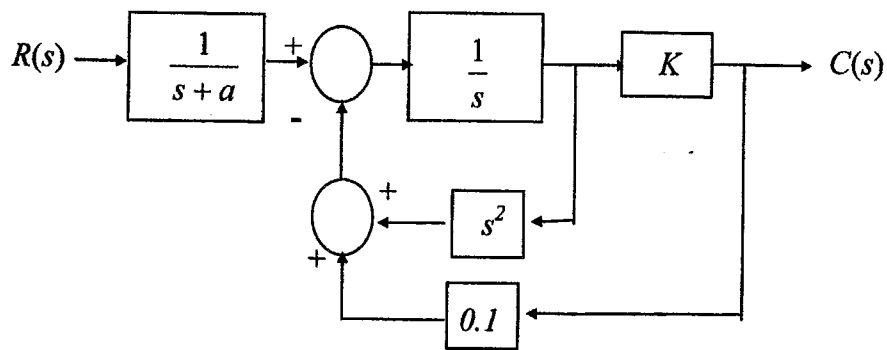
(15%)

(ii) Dengan menggunakan peraturan Mason, dapatkan rangkap pindah $\frac{C(s)}{R(s)}$ bagi sistem tersebut.

By using Mason's rule, obtain the transfer function $\frac{C(s)}{R(s)}$ for the system.

(25%)

...5/-

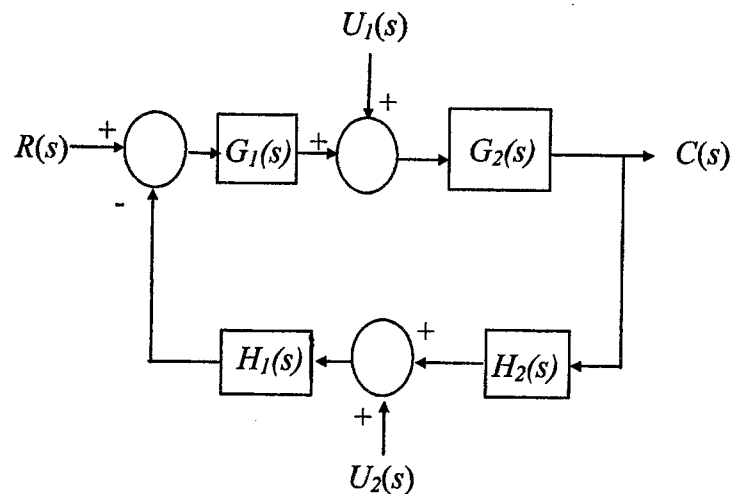


Rajah 2(a)
Figure 2(a)

- (c) Dengan menganggap sistem yang ditunjukkan dalam Rajah 2(b) adalah linear, dapatkan output $C(s)$ apabila input $R(s)$, $U_1(s)$, dan $U_2(s)$ dikenakan.

By assuming that the system shown in Figure 2(b) is linear, obtain output $C(s)$ when inputs $R(s)$, $U_1(s)$, and $U_2(s)$ are applied.

(40%)



Rajah 2(b)
Figure 2(b)

...6/-

3. (a) Dengan menggunakan suatu contoh yang sesuai, terangkan kriteria kestabilan Routh.

By using a suitable example, explain the Routh Stability Criterion.
(20%)

- (b) Pertimbangkan sistem suapbalik unit yang ditunjukkan dalam Rajah 3(a).

Consider the unity feedback system shown in Figure 3(a).

- (i) Dapatkan persamaan ciri bagi sistem tersebut.

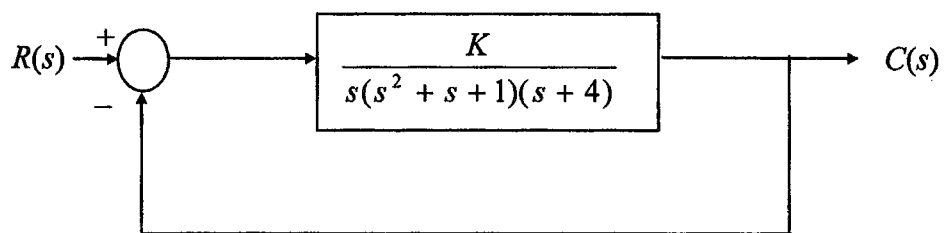
Obtain the characteristic equation of the system.

(15%)

- (ii) Tentukan julat K yang menjamin kestabilan sistem dengan menggunakan kriteria kestabilan Routh.

Determine the range of K to ensure stability of the system by using the Routh Stability Criterion.

(25%)



Rajah 3(a)
Figure 3(a)

...7/-

- (c) Rajah 3(b) menunjukkan suatu sistem gelung tertutup tunggal dengan suatu gelung suapbalik kecil.

Figure 3(b) shows a unity closed-loop control system with a minor feedback loop.

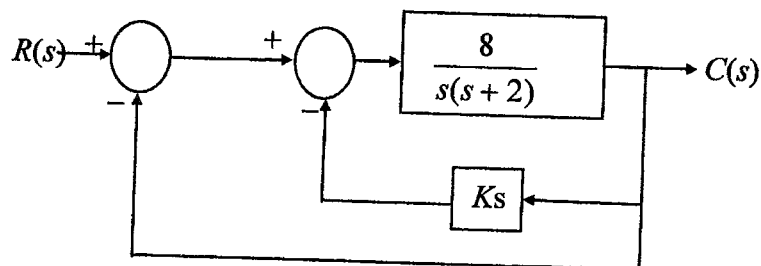
- (i) Jika $K=0$, tentukan nisbah redaman, frekuensi tabii tak teredam, dan frekuensi tabii teredam. Tentukan ralat keadaan mantap apabila input tanjakan unit dikenakan.

If $K=0$, determine the damping ratio, undamped natural frequency, and damped natural frequency. Determine the steady state error when a unit ramp input is applied.

(20%)

- (ii) Tentukan nilai K yang akan meningkatkan nisbah redaman sistem kepada 0.7. Apakah nilai ralat keadaan mantap bagi input tanjakan unit dengan nilai K ini?

Determine the value of K that will increase the damping ratio of the system to 0.7. What is the steady-state error to unit ramp input with this value of K ?



Rajah 3(b)
Figure 3(b)

(20%)

...8/-

4. (a) Terangkan bagaimana sebuah Pengawal logik boleh aturcara (PLC) melaksanakan program.

Describe how a Programmable logic controller (PLC) executes its program.

(20%)

- (b) Satu sistem isih menggunakan penghantar yang dikawal of PLC telah dibangunkan seperti yang ditunjukkan pada Rajah 4(b). Penghantar digerakkan oleh motor 3 fasa yang disambungkan dengan motor penghidup. Dua solenoid tolak jenis 24V disambungkan kepada PLC untuk menolak bahankerja ke tempat masing-masing. Dua penderia hampir diletakkan pada kedudukan berlainan untuk mengisih kotak tinggi dan kotak rendah. Apabila mengesan kotak tinggi, dua penderia akan memberikan isyarat 1 dan apabila mengesan kotak rendah, hanya satu sensor memberi isyarat 1.

Rekabentuk gambarajah tangga untuk mengawal proses tersebut:

A conveyor sorting system, controlled by PLC is shown in Figure 4(b). The conveyor system is powered by three-phase motor that is connected to a motor starter. Two eject solenoid which are powered by 24V are connected to PLC to perform the sorting. Two proximity sensors that are placed at different height are used to sort the low and high boxes. When the high box is detected, two proximity sensors are on. When the low box is detected, only one proximity sensor will on.

Design a ladder logic diagram to control the following process:

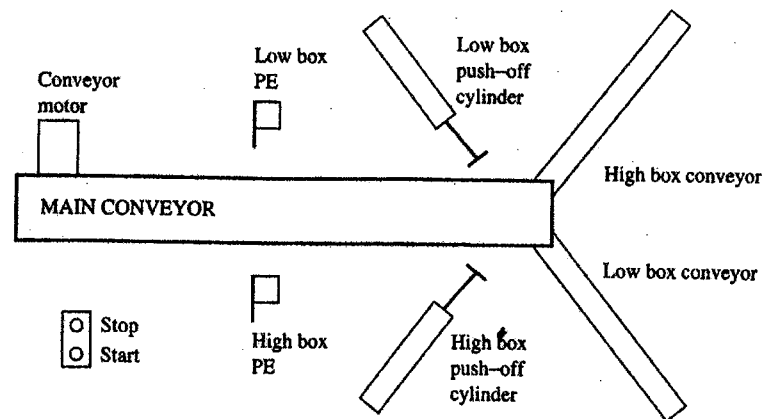
...9/-

- Satu suis mula untuk memulakan proses
A start switch is to start the overall process
 - Satu suis henti untuk menghentikan proses tersebut.
A stop switch is used to stop the process
 - Apabila suis mula ditekan, penghantar dijalankan.
When the start switch is pressed, the conveyor belt will run
 - Kotak pada penghantar hanya satu pada satu masa.
The boxes are conveyed on the box one at a time.
 - Apabila kotak rendah dikesan, eject solenoid kotak rendah akan dionkan untuk menolak tersebut ke penghantar kotak rendah
When the high box is detected, high box eject solenoid is activated to eject the box to high box conveyor
 - Apabila kotak tinggi dikesan, eject solenoid kotak tinggi akan dionkan untuk menolak tersebut ke penghantar kotak tinggi.
When the low box is detected, low box eject solenoid is activated to eject the box to low box conveyor.
 - Bilangan kotak tinggi dan rendah yang diisih dicatitkan. Apabila jumlah kotak tinggi dan rendah mencapai 20 kotak, penghantar akan berhenti.
The number of low boxes and high boxes sorted are recorded. When the number of low boxes and high boxes reach 20, the conveyor stop.
- (i) Cadangkan satu jenis modul ouput PLC yang sesuai digunakan.
Suggest one type of PLC output module suitable to be used for the above process?
- (ii) Berasaskan pada cadangan bahagian (i), lakarkan pendawaian alatan input dan output kepada PLC.
Based on the suggested output in section (i), draw the PLC input and output connection diagram.

...10/-

- (iii) Rekabentuk gambarajah tangga.
Design the ladder diagram.

(80%)



Rajah 4(b)
Figure 4(b)

5. (a) Nyatakan faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan PLC?
What are the factors in selection of a PLC?

(20%)

- (b) Apakah tujuan piawai pengaturcaraan PLC IEC 61131-3 diperkenalkan?
Terangkan piawai tersebut dengan memberi contoh yang sesuai.

What is the purpose of IEC 61131-3 programming standard for PLC?
Describe the standard with appropriate examples.

(35%)

...11/-

- (c) Sebuah loji mempunyai satu sistem kecemasan (alarm) untuk memberikan amaran apabila keadaan kritikal berlaku. Ia mengandungi empat penderia A, B, C dan D yang menghasilkan 1 atau 0 mengikut keadaan. Penderia A mengesan takat cecair dalam sebuah tangki. Penderia B mengesan kadar aliran. Penderia C mengesan suhu. Penderia D mengesan tekanan. Rekabentuk satu gambarajah tangga untuk membunyikan siren jika salah satu keadaan yang berikut berlaku:

A chemical plant has an alarm system to give warning when critical situations occur. The alarm system has four sensors A,B, C and D that produce logic 1 or 0 depending on the condition. Sensor A detects the liquid level in a tank. Sensor B detects the flow rate. Sensor C detects the temperature. Sensor D detects the pressure. Design a ladder diagram to activate the siren if any one of the following conditions occurs:

- (i) Takat cecair tinggi dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi.
The liquid level is high with temperature is high and pressure is high.
- (ii) Takat cecair rendah dengan suhu tinggi dan kadar aliran tinggi.
The liquid level is low with temperature is high and flow rate is high.
- (iii) Takat cecair rendah dengan suhu rendah dan tekanan tinggi.
The liquid level is low with temperature is low and pressure is high.
- (iv) Takat cecair rendah dengan kadar aliran rendah dan suhu tinggi.
The liquid level is low with flow rate is low and temperature is high.

...12/-

Nyatakan semua anggapan yang dibuat tentang keadaan empat penderia tersebut yang menghasilkan logik 1 atau 0. Rekabentuk satu gambarajah tangga untuk mengawal proses tersebut.

State all the assumptions made for the four sensors to produce logic 1 and 0. Design the ladder program to control the process stated above.

(45%)

6. (a) Terangkan komponen-komponen yang terdapat dalam PLC.

Explain the components that make up a typical PLC.

(20%)

- (b) *Bandingkan sistem automasi industri yang dikawal oleh PC dan PLC.*

Compare PC-based and PLC-based industrial automation system.

(20%)

- (c) Rekabentuk gambarajah tangga yang menghasilkan output Y1, Y2 dan Y3 seperti yang ditunjukkan pada Rajah 6(c) apabila satu suis mula X1 ditekan. Satu suis henti X2 digunakan untuk menghentikan proses ini.

Design the ladder logic to produce the output Y1, Y2 and Y3 as shown in Figure 6(c) when the push button X1 is pressed. A stop switch X2 is used to stop the process when it is pressed.

(60%)

...13/-

Lampiran—Jadual Jelmaan Laplace

	$x(t)$	$X(s)$
1	Unit impulse, $\delta(t)$	1
2	Unit step, $1(t)$	$\frac{1}{s}$
3	t	$\frac{1}{s^2}$
4	$\frac{t^{n-1}}{(n-1)!} (n=1,2,3,\dots)$	$\frac{1}{s^n}$
5	$t^n (n=1,2,3,\dots)$	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
6	e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$
7	te^{-at}	$\frac{1}{(s+a)^2}$
8	$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1} e^{-at} (n=1,2,3,\dots)$	$\frac{1}{(s+a)^n}$
9	$t^n e^{-at} (n=1,2,3,\dots)$	$\frac{n!}{(s+a)^{n+1}}$
10	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
11	$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
12	$\sinh \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 - \omega^2}$
13	$\cosh \omega t$	$\frac{s}{s^2 - \omega^2}$
14	$\frac{1}{a}(1 - e^{-at})$	$\frac{1}{s(s+a)}$
15	$\frac{1}{b-a}(e^{-at} - e^{-bt})$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)}$
16	$\frac{1}{b-a}(be^{-bt} - ae^{-at})$	$\frac{s}{(s+a)(s+b)}$
17	$\frac{1}{ab} \left[1 + \frac{1}{a-b}(be^{-at} - ae^{-bt}) \right]$	$\frac{1}{s(s+a)(s+b)}$

18	$\frac{1}{a^2}(1 - e^{-at} - ate^{-at})$	$\frac{1}{s(s+a)^2}$
19	$\frac{1}{a^2}(at - 1 + e^{-at})$	$\frac{1}{s^2(s+a)}$
20	$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$
21	$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$
22	$\frac{\omega_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t)$	$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$
23	$-\frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t - \phi)$ $\phi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$	$\frac{s}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$
24	$1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t + \phi)$ $\phi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$	$\frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)}$
25	$1 - \cos \omega t$	$\frac{\omega^2}{s(s^2 + \omega^2)}$
26	$\omega t - \sin \omega t$	$\frac{\omega^3}{s^2(s^2 + \omega^2)}$
27	$\sin \omega t - \omega t \cos \omega t$	$\frac{2\omega^3}{(s^2 + \omega^2)^2}$
28	$\frac{1}{2\omega} t \sin \omega t$	$\frac{s}{(s^2 + \omega^2)^2}$
29	$t \cos \omega t$	$\frac{s^2 - \omega^2}{(s^2 + \omega^2)^2}$
30	$\frac{1}{\omega_2^2 - \omega_1^2} (\cos \omega_1 t - \cos \omega_2 t) \quad (\omega_1^2 \neq \omega_2^2)$	$\frac{s}{(s^2 + \omega_1^2)(s^2 + \omega_2^2)}$
31	$\frac{1}{2\omega} (\sin \omega t + \omega t \cos \omega t)$	$\frac{s^2}{(s^2 + \omega^2)^2}$